

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表平6-507879

第3部門第1区分

(43)公表日 平成6年(1994)9月8日

(51)Int.Cl.⁵
C 0 1 B 31/02

識別記号 庁内整理番号
101 Z 7003-4G

F I

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平5-500327
(86) (22)出願日 平成4年(1992)5月22日
(85)翻訳文提出日 平成5年(1993)11月24日
(86)国際出願番号 PCT/US92/04350
(87)国際公開番号 WO92/20622
(87)国際公開日 平成4年(1992)11月26日
(31)優先権主張番号 705, 310
(32)優先日 1991年5月24日
(33)優先権主張国 米国 (U.S)
(81)指定国 E P (A T, B E, C H, D E,
DK, E S, F R, G B, G R, I T, L U, M C, N
L, S E), C A, J P

(71)出願人 マサチューセッツ・インスティチュート・オ
ブ・テクノロジー
アメリカ合衆国マサチューセッツ州02139,
ケンブリッジ, カールトン・ストリート
28 ルーム イー32-300
(72)発明者 ハワード, ジャック・ビー
アメリカ合衆国マサチューセッツ州01890,
ワインチエスター, セントラル・ストリー
ト 24
(72)発明者 マッキンノン, ジェイ・トーマス
アメリカ合衆国コロラド州80304, ボウル
ダー, ドゥーイ・アベニュー 6035
(74)代理人 弁理士 湯浅 恒三 (外6名)

(54)【発明の名称】 フルレン類を製造するための方法

(57)【要約】

火炎中でフルレン類を合成するための方法が提供され
る。フルレン類は、炭素含有化合物を火炎中で燃焼させ、
凝縮物を収集することにより製造される。凝縮物は、所
望のフルレン類を含有する。フルレン収率は、最適化す
ることができる、フルレン組成は、選択的に変化させること
ができる。フルレン収率および組成は、火炎条件およ
びパラメータ、例えば、C/O比、圧力、温度、滞留時
間、希釈剤濃度およびガス速度を選択的に制御すること
により、決定される。

特表平6-507879 (2)

請求の範囲

- 火炎中、炭素含有化合物を燃焼し、フルレンを含有する生成物を収集することを含むフルレン類を製造するための方法。
- 火炎条件がフルレン類の生成を最大にするように選択された火炎中、炭素含有化合物を燃焼し、最適量のフルレン類を含有する凝縮物を収集することを含むフルレン類の製造方法。
- 火炎条件が所望のフルレン組成を与えるように選択された火炎中、炭素含有化合物を燃焼し、特定のフルレン組成を有するフルレン類を含有する凝縮物を収集することを含むフルレン類を製造するための方法。
- 火炎中、炭素含有化合物を燃焼し、フルレンを含有する凝縮物を収集することを含み、室圧が実質的に大気圧であり、火炎条件がフルレン収率および組成を最適化するように制御されるフルレン類を製造するための方法。
- 前記火炎条件が、C/O比、圧力、希釈剤濃度、温度、滞留時間およびガス速度を含む群から選択されるパラメータの一以上を制御することにより設定される請求項2、3または4に記載の方法。
- フルレン収率を最適化するように調整されたC/O比、C/H比、圧力、希釈剤濃度、温度、滞留時間およびガス速度を有する安定な火炎を達成し；
安定な火炎中で達成される条件下燃料を、この燃料はフルレン類を生成するものであれば、いかなる炭素含有化合物であってもよい、主火炎燃焼反応が本質的に完了するように選択されたボスト火炎域で前記火炎に導入し；
さらに、
フルレン類を含有する凝縮物を収集する、
各工程を含むフルレン類の製造方法。
- エネルギーが、外部エネルギー源から火炎に加えられる請求項1、2、3、4または6に記載の方法。
- フルレン生産の向上、あるいは、フルレン類の特性の向上のために、添加剤が火炎中に導入される請求項1、2、3、4または6に記載の方法。
- 前記添加剤が、ハロゲン類およびアルカリ土類金属、アルカリ金属ならびに鉄を含む群から選択される請求項8に記載の方法。
- 凝縮物が、火炎の末尾から収集される請求項1、2、3、4または6に記載の方法。

2.6. 前記炭素含有化合物が、ベンゼンである請求項1、2、3、4または6に記載の方法。

2.7. 前記希釈剤が、アルゴンである請求項5に記載の方法。

2.8. C/O比が、0.5より大きい請求項5に記載の方法。

2.9. C/O比が、実質的に、0.72～1.07の範囲である請求項5に記載の方法。

3.0. アルゴン希釈剤のモル%が、実質的に、0～40の範囲である請求項5に記載の方法。

3.1. バーナにおけるガス速度が、実質的に、1.4～7.5 cm/sの範囲である請求項5に記載の方法。

3.2. 室圧が、実質的に、1.60～1.3.35 kPaの範囲である請求項5に記載の方法。

3.3. 前記凝縮物内に含有されるフルレン類が、従来からの精製技術を用いて、純粋な形態で得られる請求項1、2、3、4または6に記載の方法。

3.4. 前記従来からの構製技術が、溶剤抽出、液体クロマトグラフィ、ガスクロマトグラフィ、昇華および蒸留を含む請求項3に記載の方法。

3.5. フルレン類の収率が、全煤質量の0.003～7%の範囲である請求項1、2または3に記載の方法。

3.6. 前記フルレン類の収率が、燃料炭素の0.002～0.24%の範囲である請求項1、2または3に記載の方法。

3.7. 前記火炎が、層流または乱流である請求項1、2、3、4または6に記載の方法。

3.8. 酸素または酸素リッチな空気供給を用いることにより、前記C/O比が、一部制御される請求項5に記載の方法。

明細書

フルレン類を製造するための方法

発明の背景

本発明は、ブックミンスター・フルレン類(Buckminsterfullerenes)またはフルレン類として公知の閉鎖カゴ形炭素分子に関するものである。

フルレン類は、最初、Kroto et al.により、グラファイトのレーザ放電によって生成する炭素蒸気中で報告された[Nature 318, 162-164 (1995)]。フルレンC₆₀は、20個の6員環と12個の5員環とを含み、サッカーボール状の外観を有する閉鎖カゴ形炭素構造物である。これらの化合物は、2つの公知の形態、グラファイトとダイヤモンド以外の炭素の新しい類を表すので、科学的な関心を集めている。

フルレン類は、多くの重要な用途を有する。その構造中に金属カチオンを包接する能力は、工業的なプロセスにおいて、触媒として使用できることを示唆する。カリウムフルレンC₆₀は、T_gが11Kである超伝導体である。フルレンC₆₀表面は、化学反応、例えば、水素化およびフッ素化を受けやすい。フッ素化されたフルレン類は、良好な滑剤として期待されている。

フルレン類の実用性は、安価で、効率的な方法により、その材料を大量に製造できないことにより阻害され、十分に発揮されないでいる。最近、C₆₀およびC₇₀フルレン類は、抵抗加熱によるグラファイトの気化により、大量に製造されるようになった[Krautschäfer et al. Nature 347, 354-358 (1990)]。煤生成炎(see sing flame)中のフルレン類の形成は、これらの火炎に対して、多くのデータが使用できるので、非常に有望である。煤生成炎中に存在する水素は、フルレン類も含め多環芳香族炭化水素(PAH)として知られる芳香族構造物を形成しやすいとされている。Gerhardt et al.は、火炎中、フルレン類と同じ分子量を有する全て炭素のイオン類を検出した[Chem. Phys. Lett. 117, 386-390 (1989)]。火炎中における中性種の存在は、未だ、明確には、確立されていない。

発明の概要

本発明の目的は、火炎中において、フルレン類を合成するための方法を提供することである。本発明のさらなる目的は、燃料炭素のフルレンへの転化を最適化するための方法を提供することである。本発明のさらなる目的は、フルレン組成

を選択的に変化させるための手段を提供することである。フルレン組成とは、異なる分子量と化学構造とを有するフルレン類の相対的な収率を意味する。

本発明の一つの態様においては、フルレン類は、炭素含有化合物を火炎中で燃焼し、その火炎の凝縮物 (condensibles)を収集することにより、製造される。凝縮物は、フルレン類を含有する。

本発明のもう一つの態様において、フルレン類は、炭素含有化合物を火炎中で燃焼し、その凝縮物を収集することにより、製造される。火炎条件は、フルレン収率が最適化されるように選択される。凝縮物は、フルレン類を含有する。

本発明のさらにもう一つの態様において、フルレン類は、炭素含有化合物を火炎中で燃焼し、その凝縮物を収集することにより、製造される。火炎条件は、フルレン組成を選択的に変化させることができるように選択される。

凝縮物は、それのみ、または、煤が存在する場合には、煤とともに収集することができる。凝縮物または煤は、火炎の末尾から、火炎の内部から、あるいは、燃焼中に付着するバーナチャンバの内部表面から収集することができる。凝縮物は、プローブまたはパイプで凝縮物を取り出し、その流れをトラップに導くことにより、火炎内部から収集することができる。大きなスケールでの操作においては、パイプは、水ジャケットで冷却することもでき、冷却速度を制御する手段を備える。

好ましい実施態様においては、火炎条件は、C/O比、室圧(chamber pressure)、火炎中の滞留時間、希釈濃度およびガス速度を制御することにより、設定される。アルゴンは、好ましい希釈剤である。燃料のフルレン転化は、高温になる程、室圧が低下する程、C/O比が増大する程、増大する。フルレン収率および組成は、火炎中の滞留時間に依存して変化する。しかし、その効果は、単調ではない。

本発明のもう一つの実施態様においては、火炎温度を上昇させ、それにより、フルレン収率を向上させるために、外部エネルギー源から、火炎にさらにエネルギーが供給される。好ましいエネルギー源としては、入力流の電気抵抗加熱、マイクロウェーブ加熱、放電加熱および向流加熱 (counter-current heating) が挙げられる。火炎温度は、実質的に、1400K～3000Kの範囲である。

その他の実施態様において、添加物を火炎に含ませることができる。添加物、

例えば、ハロゲン類は、火炎中の有効水素の量を低下させることにより、燃料のフルレンへの転化を増大させるために使用することができる。添加物、例えば、アルカリド土類金属類、アルカリ金属類および鉄は、フルレンの性質を変えるために火炎に含ませることができる。特に、カリウムは、フルレンに添加され、超伝導化合物を生成することができる。

その他の好ましい実施態様において、室圧は、減圧である。火炎は、煤生成炎であってもよく、煤を生成しない火炎であってもよい。火炎は、層流であってもよく、乱流であってもよい。燃料は、いずれかの炭化水素、化石燃料、バイオマス燃料、または、これらから誘導される生成物である。C/O比は、0.5よりも大きく、好ましくは、実質的に、0.72～1.07の範囲内であり、希釈剤濃度は、実質的に、0～40モル%の範囲内であり、さらに、ガス速度は、工業的なスケールでは、さらに速くすることができるが、実質的に、1.4～7.5cm/sの範囲内である。フルレン類の収率は、実質的に、全煤質量の0.003～7%の範囲である。フルレン類の収率は、実質的に、燃料炭素の0.002～0.24%の範囲である。

本発明のもう一つの態様において、室圧は、大気圧または大気圧近傍に維持され、火炎条件は、フルレン収率を最大にし、所望のフルレン組成を得るように制御される。

さらなる柔軟性を付与するために、安定な火炎は、フルレン収率を最適化するように調整されたC/O比、C/H比、圧力、希釈剤濃度、温度、滞留時間およびガス速度で達成することができる。燃料は、主火炎燃焼が本質的に完了する選択されたボスト火炎域で火炎に導入される。燃料は、安定な火炎中で達成される条件下で、フルレン類を生成するものであれば、いかなる炭素含有化合物であってもよい。凝縮物は、収集され、この凝縮物には、フルレン類が含まれる。このように、フルレン類が形成される条件は、火炎の安定性の要件によって支配されない。

フルレン類は、従来からの精製技術を用いて精製することができる。フルレン類は、煤から溶剤抽出によって抽出することができる。抽出物は、さらに、精製することができ、異なるフルレン類は、液体クロマトグラフィ、ガスクロマトグラフィ、超臨界流体クロマトグラフィ、昇華または蒸留技術を用いて、分離さ

れる。

図面の簡単な説明

図1は、火炎煤抽出物の電子衝撃マススペクトルである。

図2は、火炎煤抽出物の高性能液体クロマトグラムである。

図3は、C₆₀フルレンのUV-VIS (紫外-可視)スペクトルである。

図4は、C₇₀フルレンのUV-VISスペクトルである。

好ましい実施態様の説明

本発明の方法に従えば、ベンゼン燃料は、火炎中で燃焼する。種々の範囲の条件下で、火炎から煤試料が収集され、従来からの技術を用いて、フルレン含量および組成が分析される。

アルゴン希釈剤を有するベンゼンと酸素との予備混合層流火炎は、ウインドウおよび目視用のフィードスルー(feed-through)、光学的な診断装置およびプローブを備えた低圧室内において、水冷バーナ上に安定化され、減圧ポンプに排気される。火炎は、それを通して、供給混合物が供給されるドリルカッパー-バーナ (drilled copper burner)から前方に均一に変位したフラット7.0mm径で安定化される。火炎は、熱遮蔽を付与する環状の煤を生成しない火炎により取り囲まれ、ほぼ、その内部の温度および種の濃度が、バーナ表面からの距離または滞留時間によってのみ変化する、ほぼ一次元のコアを与える。バーナは、以前は、煤の核形成および成長の機構研究に使用されていたが、研究された火炎は、温度および化学組成についてのかなりのデータが使用できるタイプについてである。

以下の範囲におよぶ種々の一連の条件下で火炎を生成させた。バーナ室圧1.60～1.3.35kPa; 原子C/O比0.72～1.07; 希釈剤モル%0～30; バーナ2.98Kにおけるガス速度1.4～7.5cm/s。各火炎は、1.6～2.8時間維持した。

種々の煤試料についての実験条件を表1に記載する。種々の煤試料についてのサンプリング技術は、表2に記載する。煤は、また、各実験後、バーナチャンバの内部表面からも収集した。煤試料は、また、火炎内のバーナからの所定距離においても、火炎の末尾においても、室温フィルターに結合された水晶のプローブ、減圧ポンプおよびガスマーターを用いて、火炎から取り出した。火炎温度およびガス組成情報を用いて、種々の火炎中、プローブで収集された煤質量およびガス

体積は、供給炭素の0.8～1.2%の範囲の煤収率に相当することが判明した。

種々の実験において収集される煤を分析するための方法は、以下に記載する通りに行われた。煤試料は、室温で超音波浴を用いてトルエンで抽出され、濾過された。試料の一つからの溶液は、蒸発乾固させて、質量分析計で分析した。典型的な電子衝撃 (E I) 質量スペクトルを図1に示す。3.73K～6.73Kに加熱した直接挿入プローブは、試料を収集するために使用した。E I質量スペクトルは、C₆₀およびC₇₀について予想される同位体比に非常に近い同位体比を有するピークを示し、煤試料が、それぞれ、m/e 720および80における分子イオンと、m/e 360および420における二価荷電分子イオンとを有するC₆₀およびC₇₀の混合物を含有することを示した。この結論は、煤抽出物のKBrペレット試料についてのフーリエ変換赤外分光法によっても確認された。フルレンC₆₀およびC₇₀について以前に報告されたピークと一致するピークを含有するスペクトルが得られた。この分析の興味深い結果の一つは、C₇₀/C₆₀比が、フルレンの抵抗加熱グラフアイト試料について報告されている比 (0.02～0.18) よりもはるかに大きかったことである。これらの差は、フルレン類の収率および組成についての条件を処理する重要な効果を強調するものである。

煤試料のトルエン抽出物は、分光光度計ダイオードアレイディテクター (DAD) に結合させた高性能液体クロマトグラフィで分離した。大きなPAHに有効であると証明されている分離スキームが使用された。トルエン抽出物についての典型的なHPLCクロマトグラムを図2に示す。分離は、オクタデシル結合シリカカラムを用いてメタノール-ジクロロメタン移動相で行った。吸収軸は、2.36～5.00nmの波長区間にわたって吸収の和を与える。示された広いバンドDAD共鳴は、PAHについての質量に対しておおよそ比例する。表示されたC-60およびC-70ピークは、それぞれ、C₆₀およびC₇₀フルレン類について公知のピークに非常に合致する紫外 (UV) スペクトルを与えた。a, b, cと表示したピークは、いずれの公知のPAHにも得すことのできないUVスペクトルを与えるが、構造的には、フルレン類に関連するようである。これらのサテライトピークの一以上は、普通、フルレン類を含有する煤抽出物のクロマトグラムに存在するものであった。

広いバンドの紫外-可視スペクトル (UV-VIS) スペクトルを得るために

は、煤抽出物のHPLC画分からの溶液を蒸発により濃縮し、HPLC移動相をスペクトル等級のデカリンで置換した。C-60およびC-70ピークのUV-VISスペクトルは、分光光度計を用いて得られた。図3および図4に示したスペクトルは、それぞれ、Ajie et al. によって報告されたC₆₀およびC₇₀についてのものと目視的に同一であった [J. Phys. Chem. 94, 1630-1633(1990)]。

C₆₀およびC₇₀であると考えられるHPLC画分のマススペクトルは、前述した装置および技術を用いて得られた。C-60ピークは、C₆₀フルレンの報告された全ての特性を有するマススペクトルを与えた。前記マススペクトルは、m/e 720に分子ベースピークを与える、水素の損失を示さず、m/e 360に著しい二価荷電分子イオンを有した。同様に、C-70ピークは、C₇₀について公表されたマススペクトルと非常に合致する特性を有するマススペクトルを与え、m/e 840に分子ベースピークを含有し、m/e 420に二価荷電分子イオンピークを与えた。したがって、UV-VISスペクトルによって示唆されるHPLCピークの同定は、マススペクトルにより確認される。HPLC法は、C₆₀およびC₇₀の重量検量を含めて、ついで、煤試料全てからのトルエン抽出物を分析するために使用した。

種々の試料についてのC₆₀+C₇₀の収率およびC₇₀/C₆₀比を表3に報告する。種々の火炎条件下で生成するC₆₀+C₇₀の収率は、煤の質量の0.003~7%であり、これは、グラファイト気化からの1~14%と比較される。燃料炭素の0.24%または燃焼キログラムベンゼン当たりのC₆₀+C₇₀ 2.2グラムに相当する最大の収率は、2.0 torrの圧力、アルゴン10%でのC/O比0.995、298 Kでのバーナーのガス速度4.9. 1 cm/sで得られた。火炎温度は、ほぼ1800 Kであった。これらの結果と燃焼反応器をスケールアップする能力とを考えると、火炎合成は、フルレン類製造用の興味をそそる別法である。

火炎条件と最終フルレン収率および組成との間の関係は複雑である。煤の最終組成に影響を及ぼすファクタは、C/O比、室圧、希釈剤濃度、火炎中の滞留時間、火炎温度およびガス速度として特定される。一般に、温度が高い程、圧力が低い程、そして、C/O比が高い程、C₆₀+C₇₀収率が高いことが観測された。しかし、効果は単調ではない。

例えば、表3に報告された結果は、圧力を低下させると、C₆₀+C₇₀の収率が

増大することを示唆する。しかし、圧力を低下させるには、下限があり、それを越えると収率が低下する。低圧は、火炎を通る質量の流速を低下させ、それにより、温度を低下させ、フルレン収率に好ましくない影響を与える。

同様に、理論的には、あらゆる炭化水素が、フルレン合成のための燃料源として使用可能である。しかし、あるものは、他のものよりも高温で燃焼し、あるものは、高いC/H比を有する。燃料の選択は、フルレン収率および組成に十分に影響を及ぼす。

試料は、バーナチャンバの異なる位置で収集したが、これは、火炎中の滞留時間が異なることを表す。種々の滞留時間で、試料につき、種々のフルレン収率および組成が観測された。フルレン転化プロファイルを火炎中の滞留時間の関数として一般化し、所望のフルレンの最適化された収率と組成とに相当する時間で燃焼物を選択的に収集することができる。

これらのパラメータが最終フルレン収率および組成に重要であり、フルレン類を効率よく合成するためには、フルレン製造を最大にする際に種々の処理パラメータの競争効果に注意を払う必要があることを認識すべきである。

種々の火炎条件についてのC₆₀/C₇₀比は、グラファイト気化が0.02~0.18であるのに対して、0.26~5.7の範囲であった。最大C₆₀+C₇₀収率の上記条件についてのこの比は、0.86であった。火炎条件を設定することにより、C₇₀の収率を増大させ、C₇₀/C₆₀比を制御する能力は、グラファイト気化技術とは著しく異なる。

フルレン類の最大収率は、非常に多量の煤を生成する火炎では生じない。また、フルレン収率は、同様の変化が低い煤収率を生ずる条件下では、温度の上昇、圧力の低下とともに増大する。データ中のこれらの傾向は、煤のそれらと比較してフルレン類の形成および破壊反応間の実質的な違いを反映するものである。

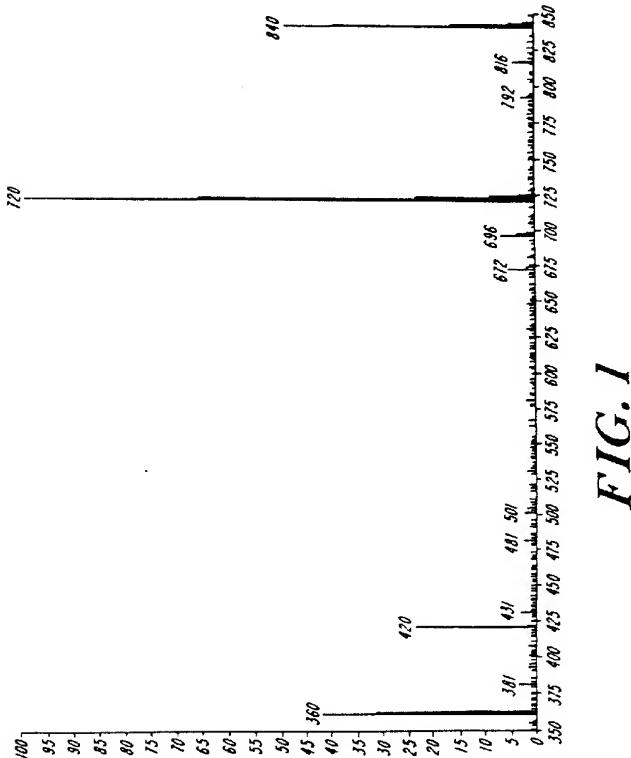


FIG. 1

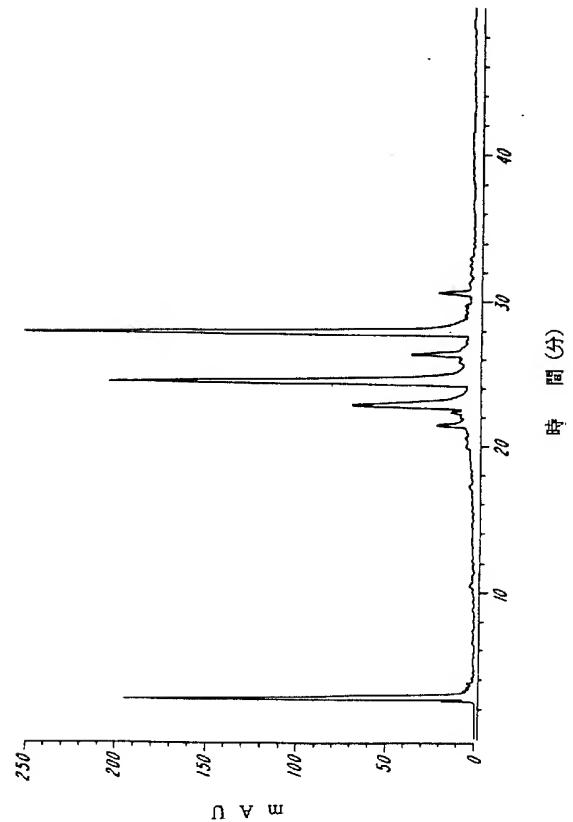


Fig. 2

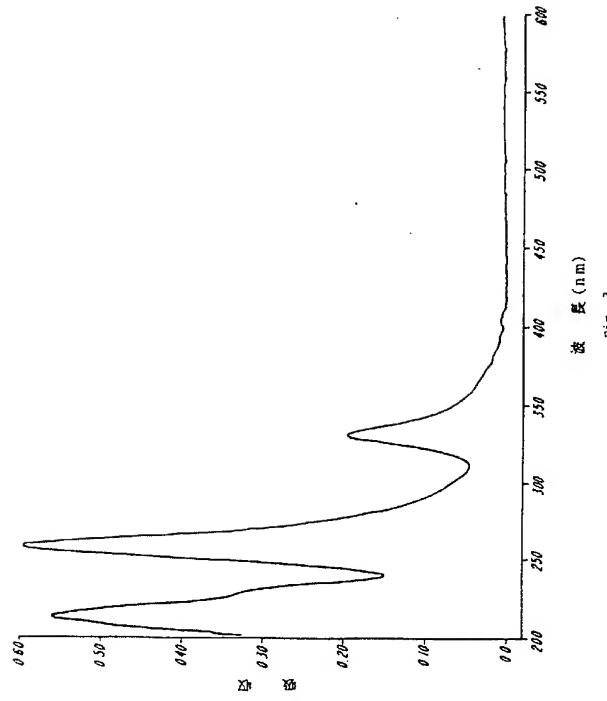


Fig. 3

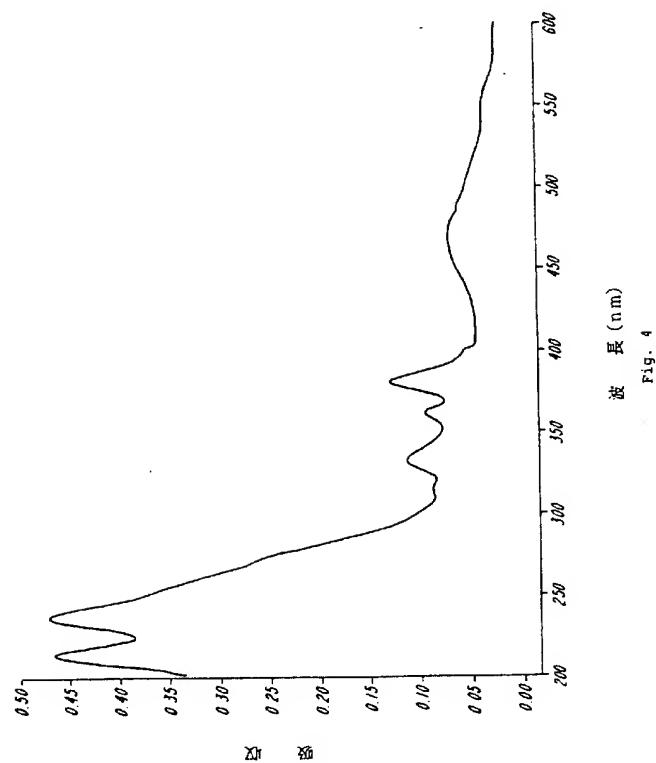


Fig. 4

国際調査報告

International application No.
PCT/US92/04350

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC5 : C01B 31/00 US CL. 432/441, 444		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
U.S. : 423/448, 461		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Classification of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US, A, 5,008,098 (Bermadiner et al) 16 April 1991. See column 3, lines 4-36.	1-6, 8-12, 14, 18, 21, 23, 24, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 38, 39, 31, 38
X	Gerhardt et al. "The Formation of Polyhedral Carbon Ions in Fuel Rich Acetylene and Benzene Flames." <i>Nature</i> Vol. 318, No. 6042, 14 November 1985. See pages 395-396.	1-3, 5, 6, 10-21, 23, 28-32, 35-38, 34
X	Bittner et al. "Pre-Particle Chemistry in Soot Formation." <i>Particulate Carbon Formation During Combustion</i> , published 1981, by Plenum Publishing Corp., See pages 109-112.	1-3, 5, 6, 10-20, 22, 26-32, 35-38
X	McKinnon et al. "Combustion Synthesis of Buckminsterfullerene," presented at Western States Section/The Combustion Institute, 17 March 1991, See pages 4-5.	1-3, 5, 6, 10-21, 26, 27, 30, 32, 38, 39, 7, 24, 25, 33, 39
[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Journal literature or patent documents		
** Document defining the present state of the art which is not considered to be prior art		
*** Document published on or after the international filing date		
**** Document published on or before the international filing date		
***** Document which does not form the basis for a claim but which is cited in another document as forming the basis for a claim which is cited in another document		
***** Document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other presentation		
***** Document published prior to the international filing date but later than the international filing date		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the International search report 08 OCT 1992
24 AUGUST 1992		
Name and mailing address of the ISA/Commissioner of Patents and Trademarks Box ACT Washington, D.C. 20531		Authorized officer <i>Debbie Williamson</i> STEVE KALINCHAK Telephone No. (703) 308-1093
Fax/Email No. <input type="checkbox"/> NOT APPLICABLE		

国際調査報告

International application No.
PCT/US92/04350

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Heath et al. "Landau-Khalatnikov Complexes in Spherical Carbon Shells." <i>Journal of American Chemical Society</i> , Vol. 107, 1985. See pages 7779 and footnote 6.	9

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet)(July 1992)